

高速偏光切替に向けたBL07LSU ID調整の現状

Present Status of BL07LSU ID Commission for Fast Polarization Switching

荒木実穂子¹、小瀬川友香¹、宮脇 淳^{1,2}、山本 達^{1,2}、平田靖透^{1,2}、
田中隆次³、竹内正雄⁴、大端通⁴、和達大樹^{1,2}、原田慈久^{1,2}、松田巖^{1,2}

¹東大物性研、²東大放射光機構、³理研/SPring-8、⁴JASRI/SPring-8

SPring-8 BL07LSUの挿入光源 (ID) は、長直線部に水平・垂直のアンジュレータを4台ずつ交互に並べたクロス型アンジュレータであり、各アンジュレータ間に配置された永久磁石移相器、電磁石移相器で位相を制御することによって、静的、動的に水平偏光、垂直偏光、(楕)円偏光を作り出すことが可能である [1]。これまで、全エネルギー領域で各アンジュレータ4台による水平偏光モード、垂直偏光モードをユーザーに提供してきたが、2014A、2014Bでは、全エネルギー領域における円偏光モードの提供のための永久磁石移相器の調整、高速偏光切替に向けた電磁石移相器の調整を行ったので、それぞれについて報告する。

円偏光モードの永久磁石移相器調整

円偏光モードの移相器のギャップを決定するには、実際に偏光度を測定する必要がある。しかし、そのためには希望するエネルギーごとに偏光子を用意しなければならず、全エネルギー領域で偏光度を測定することは現実的ではないので、全エネルギー領域の円偏光モードの移相器のギャップを解析的に決定した。

2台のアンジュレータ間の経路長は、移相器によるもの $p(g)$ とそれ以外 $\Delta(\lambda)$ (ドリフト部の経路長や端部磁場の影響など、移相器のギャップに依存しないもの) の合計と考えることができる。ここで、 g は移相器のギャップ、 λ はアンジュレータの基本波長、 n は整数を表す。位相整合の条件は、水平、垂直偏光モードでは $p(g) + \Delta(\lambda) = (n + 1/2)\lambda$ ($1/2$ が加えられているのは、同じ偏光特性を有する隣り合うアンジュレータの磁場極性が互いに反転しているため)、円偏光モードでは $p(g) + \Delta(\lambda) = (n \pm 1/4)\lambda$ である。直線偏光モードの移相器調整は各アンジュレータの組につき約 30 点のエネルギーで行っており、位相整合を満たすための移相器の最適なギャップは指数 n に依存して同じ波長でも複数存在するので、個々の組につき 200 以上の位相整合の条件式が与えられる。これらの多数の条件式だけから $p(g)$ 、奇数及び偶数アンジュレータの $\Delta(\lambda)$ 、指数 n を解析的に厳密に決定することはできないが、物理的な妥当性を考慮すると十分に高い確度で推定することが可能である。

まずは、磁場測定からおおよその関係式がわかっている $p(g)$ に関して、実際の関係式の決定を行った。ある波長 λ_i で最適化された移相器のギャップが $g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{ij}, \dots$ の時、 $p(g_{i1}) + \Delta(\lambda_i) = (n_i + 1/2)\lambda_i$ 、 $p(g_{i2}) + \Delta(\lambda_i) = ((n_i + 1) + 1/2)\lambda_i, \dots$ であるので、 $p(g_{i(j+1)}) - p(g_{ij}) = \lambda_i$ となる。そこで、 $p(g)$ のおおよその式を初期値として、全測定点で $p(g_{i(j+1)}) - p(g_{ij}) = \lambda_i$ を満たすようにフィッティングを行い、個々の移相器の実際の $p(g)$ を求めた。得られた実際の $p(g)$ で測定結果を解析すると、全ての $g_{ij}, g_{i(j+1)}$ の組で矛盾なく上述の条件が満たされることを確認したので、これを実際の $p(g)$ の関係式であると決定した。

次に、 n をパラメータとして $\Delta(\lambda)$ を計算したところ、初期指数を $n = 4$ とした時に物理的に最も合理的な結果が得られたので、 $n = 4$ が初期指数として適当であると結論付けた。求められた $\Delta(\lambda)$ は、水平アンジュレータの組では一定になるのに対し、垂直アンジュレータの組では波長に対して線形に経路長が伸びることが明らかとなった。これは、水平アンジュレータによる端部磁場の影響は無視できるが、垂直アンジュレータではギャップを閉じるにつれて端部磁場の影響が大きくなったためと考えられる。

最後に、偏光解析によって実験的に決定した円偏光モードの移送器のギャップを用いて、解析的に全エネルギー領域の円偏光モードの移送器のギャップを計算した。実験的に決定した円偏光モードの移送器のギャップは保有する3種類の多層膜偏光子による $h\nu \sim 300$ eV、400 eV、710 eV である。改めて、円偏光モードにおける位相整合の条件は $p(g) + \Delta(\lambda) = (n \pm 1/4)\lambda$ であるが、 $p(g)$ はすでに明らかであり、 $\Delta(\lambda)$ は λ に対して線形の依存性があることもわかったので、3点からでも n を推定することができ、円偏光モードでは $n = 1$ が初期位相として適当であると結論付け、隣り合うアンジュレータ間の $\Delta(\lambda)$ を求めた。この $\Delta(\lambda)$ から算出した円偏光モードの移相器のギャップを用いて円偏光モードの ID スペクトル、光量を測定し、問題が無いことを確認したので、2014年11月よりユーザーに全エネルギー領域での円偏光モードの提供を開始した。

電磁石移相器調整の調整

電磁石移相器は、2013A 期にオフラインでギャップを再調整し、2013 年夏季停止期間に収納部に再インストールしてから順次調整を行ってきた。オフラインでの磁石間ギャップの最適化により [2]、通電時の電子軌道への影響を低く抑えることに成功したが、2013B 期の調整で軌道補正が必要であることがわかり、2014 年春季停止期間に軌道補正用の空芯コイルを挿入光源の最上流と最下流にインストールした。2014A 期は、DC 運転時の空芯コイルによる軌道補正について動作確認を行い、補正用テーブルの取得を行った。次いで、2014B 期に AC 運転の動作確認を行った。AC 運転パターンは必要とする光のエネルギーや偏光切替パターンなどに依存するため、AC 運転パターンに応じて AC 運転用の補正テーブルを DC 運転用の補正テーブルから補間して作成するプログラムを用意した。動作確認は 15 ± 15 A の最大振幅のサイン波の AC 運転で行ったが、補正が機能せず、現在原因を究明中で、2015A 以降に改めて調整を進める予定である。

[1] S. Yamamoto *et. al.*, J. Synchrotron Rad. **21**, 352 (2014).

[2] I. Matsuda *et. al.*, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. **767**, 296 (2014).